



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN TV WHITE SPACES COMO BACKHAUL DE UN HOT SPOT WIFI USANDO EL USRP-2944R

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Telecomunicaciones**

AUTOR: MARLON XAVIER PILAQUINGA MOPOSITA

TUTOR: MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA

Quito-Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marlon Xavier Pilaquina Moposita con documento de identificación N°1720984606 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 09 de agosto del año 2023

Atentamente,



Marlon Xavier Pilaquina Moposita

1720984606

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marlon Xavier Pilaquina Moposita con documento de identificación N°1720984606; manifestó que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 09 de agosto del año 2023

Atentamente,



Marlon Xavier Pilaquina Moposita

1720984606

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Marlon Xavier Pilaquina Moposita con documento de identificación No.1720984606, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del artículo académico: “Implementación de un prototipo de sistema de comunicación tv white spaces como backhaul de un hot spot wifi usando el USRP-2944R”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 09 de agosto del año 2023

Atentamente,



Marlon Xavier Pilaquina Moposita
1720984606

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Napoleón Tipán Simbaña con documento de identificación N°1713583126 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN TV WHITE SPACES COMO BACKHAUL DE UN HOT SPOT WIFI USANDO EL USRP-2944R, realizado por Marlon Xavier Pilaquina Moposita con documento de identificación N°1720984606 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 09 de agosto del año 2023

Atentamente,



Ing. Milton Napoleón Tipán Simbaña, MSc.
1713583126

DEDICATORIA

A mi querida hija Samirita, cuya presencia ilumina cada logro y desafío en mi vida. A mis padres, Paty y Danilo, por su amor, apoyo y sacrificio eterno que han hecho posible este logro. A mi hermano Anthony, por su apoyo incondicional. A Nicky, por ser mi apoyo emocional y por compartir este trayecto conmigo. A mis abuelitos, tíos y primos, cuyo cariño y apoyo han sido una fuente constante de fortaleza. Este artículo académico es una demostración de gratitud hacia cada uno de ustedes.

Marlon Pilaquinga

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la determinación para completar este importante capítulo de mi educación.

A mis padres, Paty y Danilo, les debo un agradecimiento que va más allá de las palabras. Su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido el cimiento sobre el cual he construido este logro. Su aliento y confianza en mí han sido un faro de esperanza y determinación, motivándome a superar obstáculos y alcanzar mis metas.

A mi tutor Ing. Milton Tipán, le agradezco por compartir su experiencia y conocimiento conmigo. Sus orientaciones y retroalimentaciones han sido invaluable para dar forma y enriquecer esta investigación.

A mi tío Mauro Pilaquinga le agradezco por su apoyo incondicional en las etapas de mi formación académica y por estar siempre pendiente de mí a pesar de la distancia.

Marlon Pilaquinga

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN TV WHITE SPACES COMO BACKHAUL DE UN HOT SPOT WIFI USANDO EL USRP-2944 R

IMPLEMENTATION OF A PROTOTYPE TV WHITE SPACES COMMUNICATION SYSTEM AS BACKHAUL OF WIFI HOT SPOT USING THE USRP-2944 R

Marlon X. Pilaquina ¹, Milton N. Tipán ²

Resumen

El artículo se enfoca en el problema de la falta de cobertura de comunicaciones inalámbricas en las zonas rurales. Para resolver este problema, se propone implementar un prototipo del sistema de comunicación TV White Spaces como backhaul de un hotspot WiFi utilizando el USRP-2944R. El artículo describe la configuración de los equipos tanto en el hardware como el software y su implementación, la cual se utilizó para transmitir y recibir señales a través de un tono en las bandas de TV White Spaces (620 MHz) y de WIFI (2.4 GHz). Los resultados muestran la factibilidad de usar estos equipos para mejorar la cobertura y explotar las bandas de frecuencia en el apagón analógico en el Ecuador.

Palabras clave: cobertura, TV White Spaces, backhaul, hotspot WiFi, USRP-2944R.

Abstract

The article focuses on the problem of the lack of wireless communications coverage in rural areas. To solve this problem, it is proposed to implement a prototype of the TV White Spaces communication system as a WiFi hotspot backhaul using the USRP-2944R. The article describes the configuration of the equipment both in hardware and software and its implementation, which was used to transmit and receive signals through a tone in the TV White Spaces (620 MHz) and WIFI (2.4 GHz) bands. The results show the feasibility of using this equipment to improve coverage and exploit the frequency bands in the analog blackout in Ecuador.

Keywords: coverage, TV White Spaces, backhaul, hotspot WiFi, USRP-2944R.

¹Carrera de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, e-mail: mpilaquina@est.ups.edu.ec

²Carrera de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, e-mail: mtipans@ups.edu.ec

1. Introducción

Debido a la carencia de cobertura de internet en las áreas rurales podemos utilizar los espacios en blanco del espectro radioeléctrico para proveer el servicio de internet, ya que según La Ley Orgánica de Telecomunicaciones [1], en el artículo 18 establece: "El espectro radioeléctrico constituye un bien del dominio público y un recurso limitado del Estado inalienable, imprescriptible e inembargable". En Ecuador la institución que se encarga de realizar el control y monitoreo de este recurso es la ARCOTEL, ya que conforme a la norma 0781 expedida en el año 2019 las bandas de frecuencia de televisión se distribuyen en 45 canales de 6 MHz de ancho de banda cada uno y con bandas de guarda de 1.5 MHz. A través de esta banda de guarda (espacios en blanco, White spaces) del espectro radioeléctrico podemos generar servicios de bajo costo con el fin de reducir la brecha digital [2].

En la actualidad, aún existen zonas rurales aisladas y que no tienen acceso al servicio de Internet ya sea por la carencia de cobertura y/o de infraestructura de la red, por el punto geográfico donde se encuentran ubicadas o por el difícil acceso de los proveedores a las mismas [3].

Una de las propuestas para ofrecer internet a las zonas que carecen de cobertura, es el uso de los espacios de separación en blanco disponibles de la televisión (Television White Spaces, TVWS) en la banda UHF de 470 MHz a 698 MHz según la norma 0781 [1] de canalización vigente expedida por la Arcotel en el año 2019, sin interferir con el servicio principal a las que están destinadas dichas frecuencias [4].

En Ecuador netamente en la provincia de Cotacachi La Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) y Microsoft Ecuador implementaron un plan piloto que brindará la conectividad por primera vez a dos escuelas rurales a través de la tecnología TV White Spaces. Por más de 5 años Microsoft ha estado trabajando conjuntamente con los gobiernos de diferentes países alrededor del mundo y demostrando el potencial y la viabilidad de la tecnología TV White Spaces para conectar a la red a los no conectados que viven en las áreas rurales. Su eficacia ha sido probada e implementada en las aldeas más remotas de África, los densos centros urbanos de Asia y la zona cafetera en Colombia [5].

Por lo anterior, es importante el uso de dispositivos de bajo costo y que sean fácilmente adaptables a las nuevas tecnologías, así como el cambio de frecuencia del servicio a prestar, por ello un sistema Radio Definido por software (Software Define Radio, SDR) es una de las alternativas posibles en usar y que se evaluarán en este artículo.

El artículo se ha organizado de la siguiente manera.

En la sección 2, se propone los materiales y métodos utilizados para la Implementación de un prototipo de sistema de comunicación TV White spaces utilizando tres USRP-2944R. En la sección 3, se detallan los resultados obtenidos de la señal IQ transmitida por el primer USRP a una frecuencia de 620 MHz, en el segundo USRP como repetidor y convertidor de frecuencia de 620 MHz a 2.4 GHz y el tercer USRP como receptor de la señal a una frecuencia de 2.4 GHz. Finalmente, en la sección 4 se determina la conclusión.

1.1. TVWS

TVWS es una tecnología que aprovecha la migración de transmisión analógica a digital, esta migración liberará el espectro que actualmente se utiliza para la transmisión analógica. TVWS a su vez busca ser la solución para solventar el servicio de internet en zonas rurales y tiene como referencia el uso de los canales no utilizados por la televisión en la banda UHF del espectro radioeléctrico. Estas transmisiones que se realizan en la banda UHF, permiten una relevante propagación de la señal, la que puede atravesar obstáculos naturales con cierta simplicidad y son menos propensas a la difracción y la atenuación por lluvia, la orografía y la temperatura [3].

El principal objetivo de esta tecnología es ampliar la cobertura y que permita tener a más usuarios conectados a la red de internet como se observa en la Figura 1, ya que a diferencia del Wi-Fi que puede tener cobertura de unos cuantos metros, el servicio de TVWS puede tener cobertura hasta 30 km y baja interferencia en la señal si en la trayectoria existe vegetación abundante, edificios o algún otro obstáculo [6].



Figura 1. Esquema TVWS.

TVWS al funcionar como una red de soporte (Backhaul) de la red wifi que prestará internet (Frontend) utilizará frecuencias en UHF que deberán ser convertidas a 2.4 GHz mediante un repetidor, por lo que los equipos tendrán anchos de banda amplios de operación.

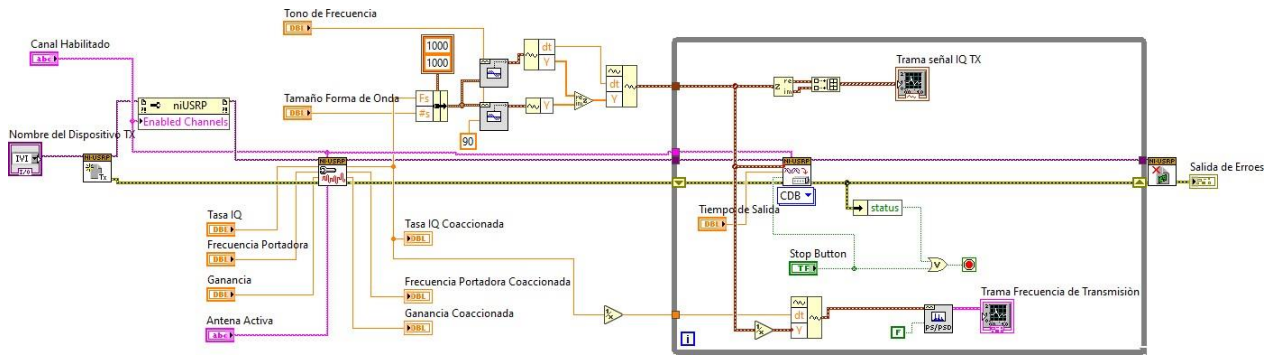


Figura 2. Diagrama de bloques transmisor.

2. Configuración del sistema

Un sistema de SDR TVWS es implementado, usando NI USRP-RIO2944R de National Instruments (NI), cuyas características se resumen en la Tabla 1 para el transmisor y en la tabla 2 para el receptor [7].

Tabla 1. Características técnicas del transmisor.

Número de canales	2
Rango de frecuencia	10 MHz a 6GHz
Paso de frecuencia	<1kHz
Potencia máxima de salida (P out)	0dBm
10 MHz a 4 GHz	<50 mW a 100 mW
4 GHz a 6 GHz	5 mW a 50 mW
Rango de ganancia	0dB a 31,5dB
Precisión de frecuencia	2,5 ppm
Ancho de banda máximo instantáneo en tiempo real	160 MHz
Tasa de muestreo I/Q máxima	2000 ms/s
Resolución de convertidor de digital a analógico (DAC)	16 bits

Tabla 2. Características técnicas del receptor.

Número de canales	2
Rango de frecuencia	10 MHz a 6 GHz
Paso de frecuencia	<1kHz
Rango de ganancia	0dB a 37,5dB
ganar paso	0,5dB
Potencia máxima de entrada (P en)	-15dBm
Figura de ruido	5dB a 7dB
Precisión de frecuencia	2,5 ppm
Ancho de banda máximo instantáneo en tiempo real	160 MHz
Tasa de muestreo I/Q máxima	2000 ms/s
Resolución del convertidor analógico a digital (ADC)	14 bits

En el equipo se programó usando Labview 2019 un tono de 30KHz como se muestra en la Figura 2, este fue modulado como señales complejas I/Q, a una frecuencia de 620MHz, que corresponde a la frecuencia de la banda de televisión analógica UHF, con una potencia de hasta 100 W, y una antena VERT 400 con ganancia de hasta 3.4 dBi; el cual simula la parte del proveedor de servicio, hacia la zona rural.

Luego se configuró un repetidor usando un solo USRP, ya que este tiene dos transceptores en el mismo radio, para ello se programó en labview el receptor en la frecuencia de 620MHz y con una antena VERT 400 con una ganancia de hasta 3.4 dBi la cual representa el backhaul de la red y un transmisor a la frecuencia de

2.4GHz, con una antena VERT 2450 de ganancia de 3 dBi. Luego se implementó un receptor a una frecuencia de 2.4 GHz y una antena VERT 2450 con ganancia de 3 dBi que representa al usuario y en general al Frontend de la red. La fotografía de la Figura 3 muestra el sistema implementado.



Figura 3. Implementación del sistema TVWS.

3. Resultados y Análisis

Se envía un tono de frecuencia 30 KHz, para probar el funcionamiento del sistema de transmisión en el backhaul, la Figura 4 muestra la señal en tiempo, así como el espectro en banda base de la señal enviada.

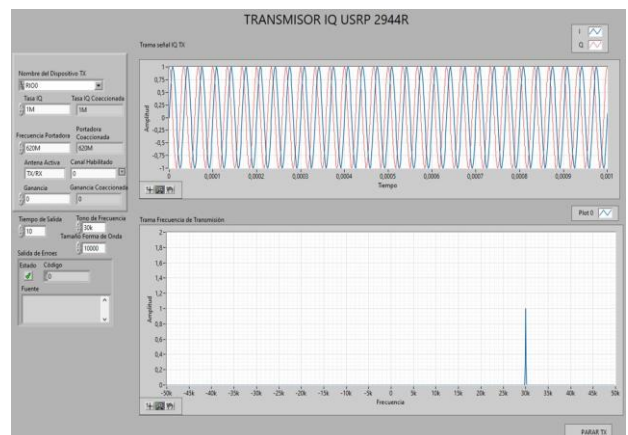


Figura 4. Panel transmisor señal IQ.



Figura 5. Señal transmitida en backhaul a 620MHz en Fieldfox.

Esta se subió en frecuencia mediante el modulador en cuadratura del radio a 620MHz, la cual fue medida mediante un analizador de espectros portátil el Fieldfox de la marca Keysight, como se muestra en la Figura 5, el equipo muestra el espectro de la señal lo que corrobora que la señal es transmitida adecuadamente. Luego, la señal es recibida en el repetidor y cambiada su frecuencia a 2.4 GHz, la señal tanto transmitida como recibida se observan en la Figura 6. Un grupo de armónicos se observa en el espectro en banda base, esto se debe a los diferentes sistemas que usan esta banda licenciada. Sin embargo, la señal tiene suficiente potencia para ser transmitida sin mayores interferencias.

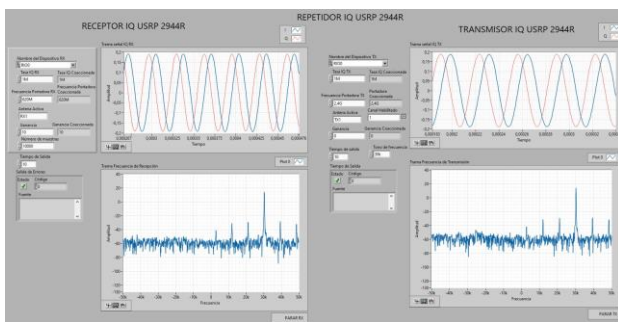


Figura 6. Panel repetidor señal IQ.

A continuación, se retransmite la señal al receptor que simula el usuario a 2.4 GHz, la señal es recibida y demodulada correctamente como se observa en la Figura 7, tanto en tiempo como en frecuencia, se observa una disminución de las señales interferentes debido a los filtros internos de canalización y preselección del USRP que ayudan a recibir mejor la señal. Además, un análisis del espectro en esta banda se llevó a cabo para verificar si está siendo afectada por otras señales cercanas, se observa que hay otras señales, pero su potencia es baja por lo que esta puede ser recuperada sin distorsiones significativas como se observa en la Figura 8, esta muestra que el espectro es coincidente con lo

esperado para una frecuencia de 2.4 GHz y un tono de 30 KHz.

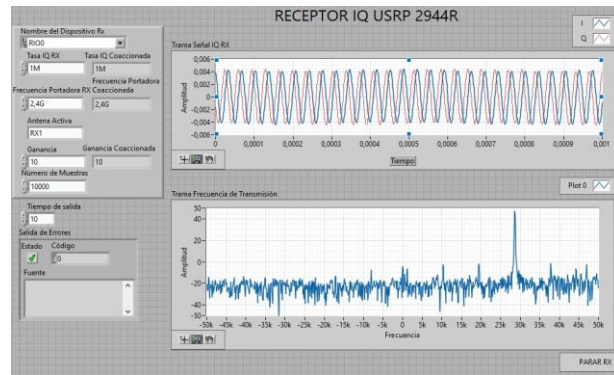


Figura 7. Panel receptor señal IQ.



Figura 8. Señal transmitida en el Fronthaul a 2.4 GHz en Fieldfox.

4. Conclusiones

La implementación exitosa de un prototipo de sistema de comunicación TV White Spaces, usando los USRP-2944R, demostró que es factible emplear las frecuencias de la señal de televisión no utilizadas como backhaul de un hotspot WiFi, de manera que se amplía la cobertura y se optimiza la conectividad en regiones con acceso limitado a Internet. Estos resultados son relevantes para acortar la brecha digital y mejorar la calidad de vida en zonas remotas. No obstante, es necesario superar los desafíos técnicos y regulatorios, pero esta investigación sienta un precedente para trabajos futuros enfocados en perfeccionar el sistema, mitigar las interferencias, con el fin de maximizar el potencial de los sistemas de comunicación TV White Spaces.

Referencias

[1] “Resolucion-arcotel-2019-0781.”

- [2] S. Olarte, “Brecha digital, pobreza y exclusión social,” *Temas laborales*, pp. 285–313, 2017. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6552396>
- [3] O. S. Penaherrera, J. L. Delgado, L. F. Guerrero, and J. P. Inga, “Tv white spaces. a case study in ecuador,” *Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017*, pp. 198–203, 2017.
- [4] H. Myrian, P. Luis, and C. Estrella, “Propuesta de declaración del espectro electromagnético para ecuador,” *Revista GEOESPACIAL*, vol. 15, pp. 15–32, 2018.
- [5] N. C. M. Latinoamérica, “Cnt y microsoft llevan conectividad rural a la provincia de cotopaxi a través de tv white spaces – news center latinoamérica,” 11 2020. [Online]. Available: <https://news.microsoft.com>
- [6] S. M. Cabello, G. Regulatorio, and P. Públicas, “Gestión del espectro demanda y el debate sobre sus usos alternativos,” *Agenda*, vol. 2010, 2010.
- [7] A. Voina, C. Codu, A. Pastrav, T. Palade, E. Pus-chita, H. Hedesiu, and C. Chirap, “Implementation of a sdr-based redundant access network using ni usrp-rio.”